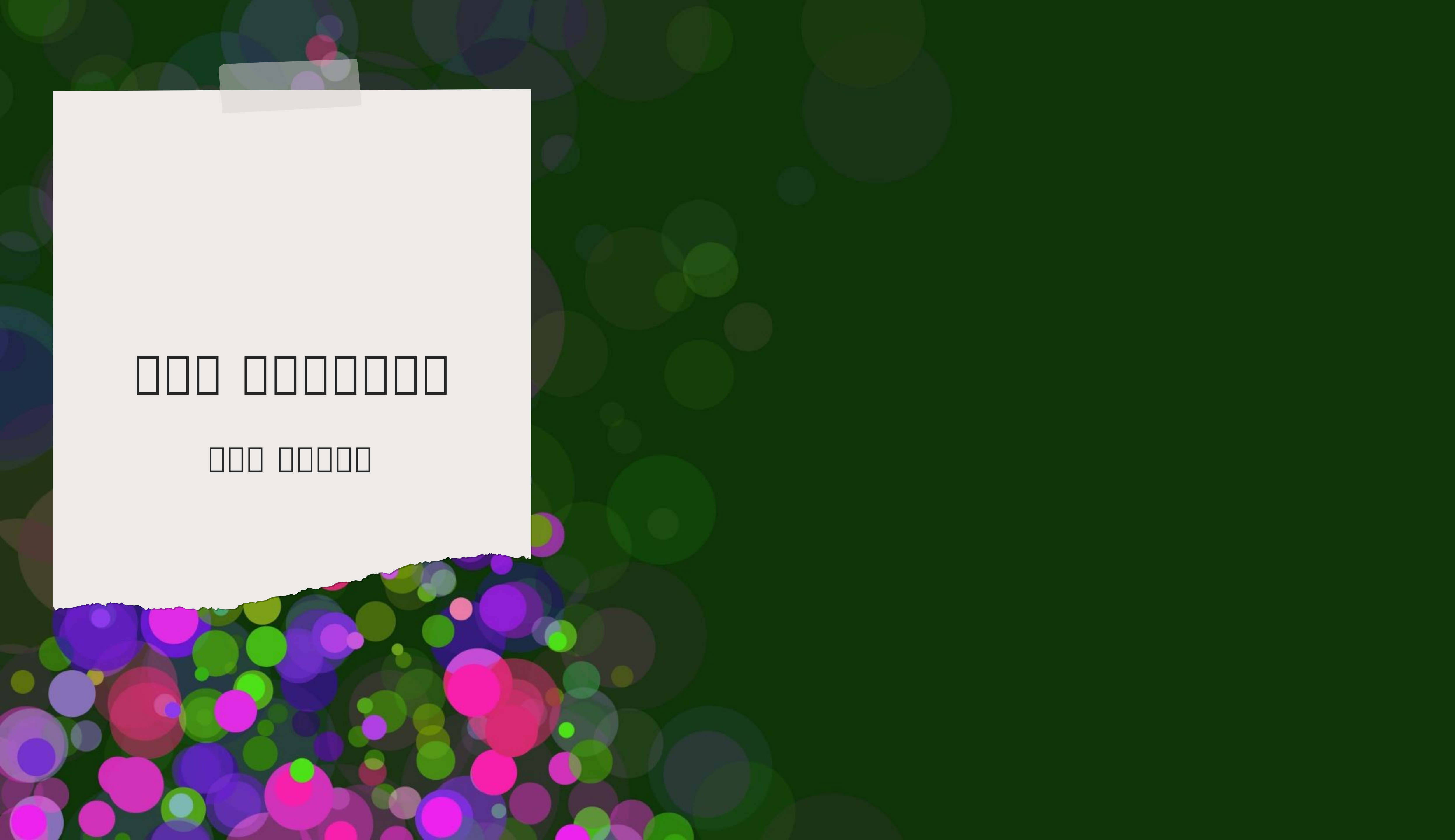


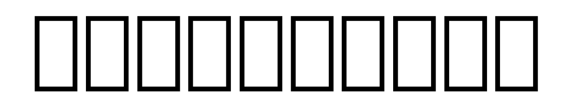
四、电子云与原子轨道 电子在空间的运动状态是怎样的？

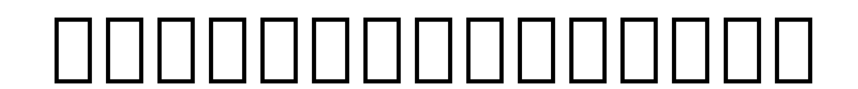
位置 动量
不确定性原理（测不准原理）
无法分辨电子的运动轨迹

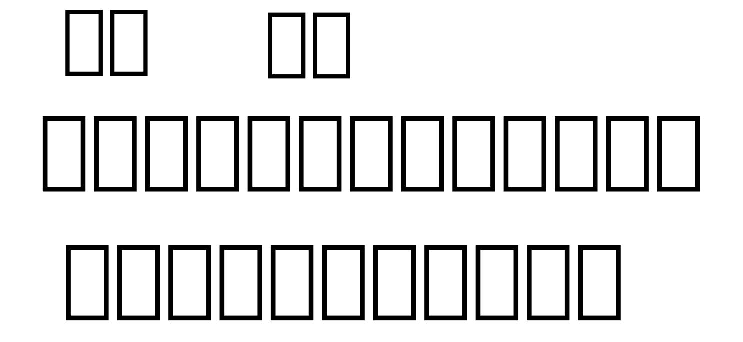
沃纳·海森堡，1932 年诺
贝尔物理学奖

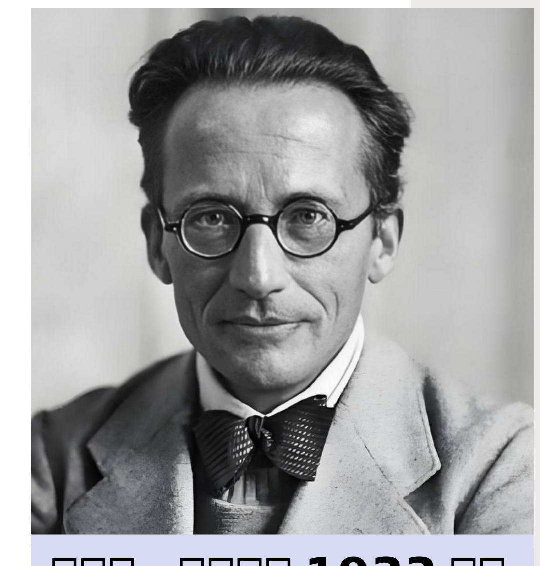
但是可以通过数学处理计算电子在空间某处出现的概率

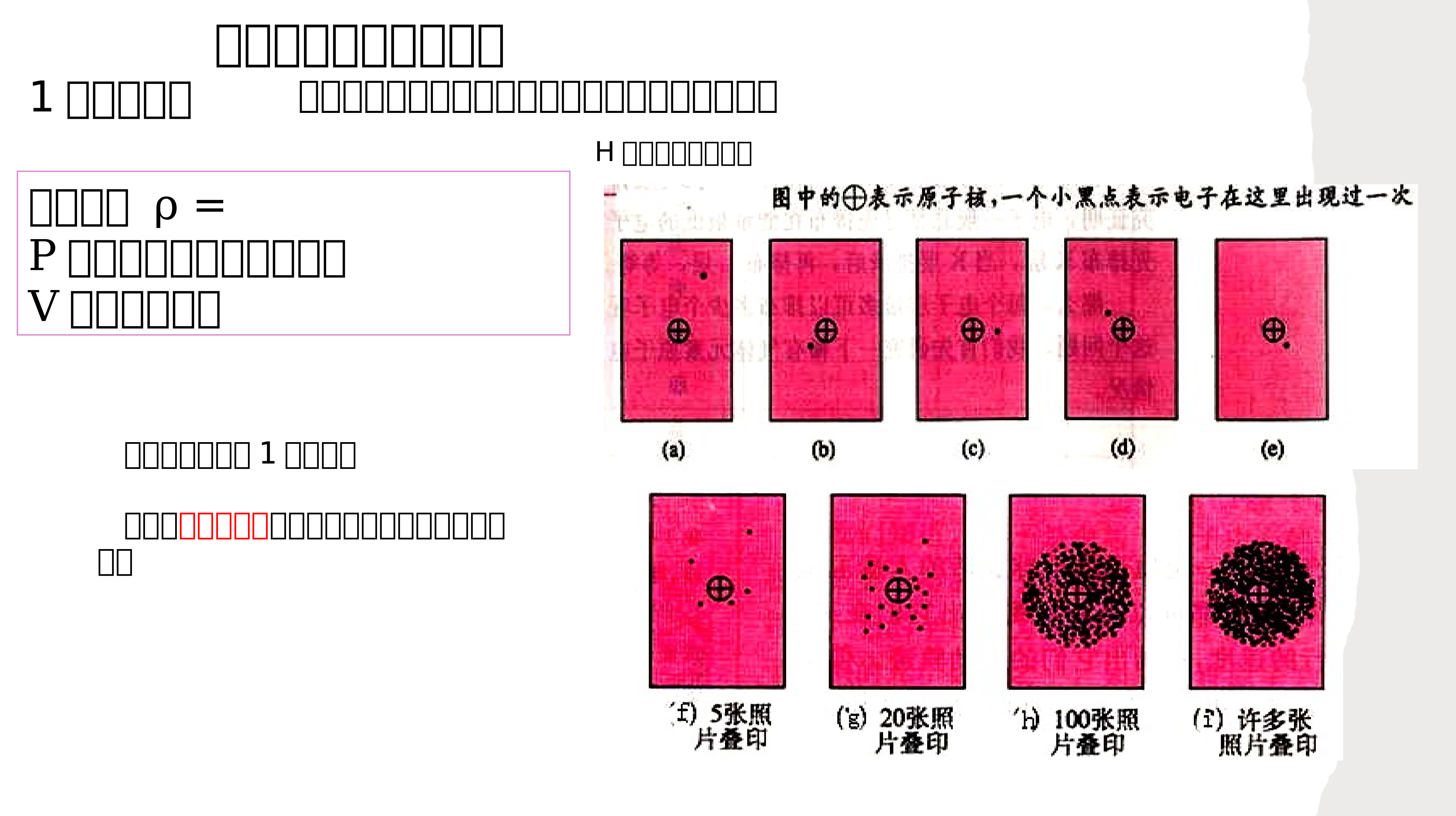
埃尔温·薛定谔，1933年诺
贝尔物理学奖







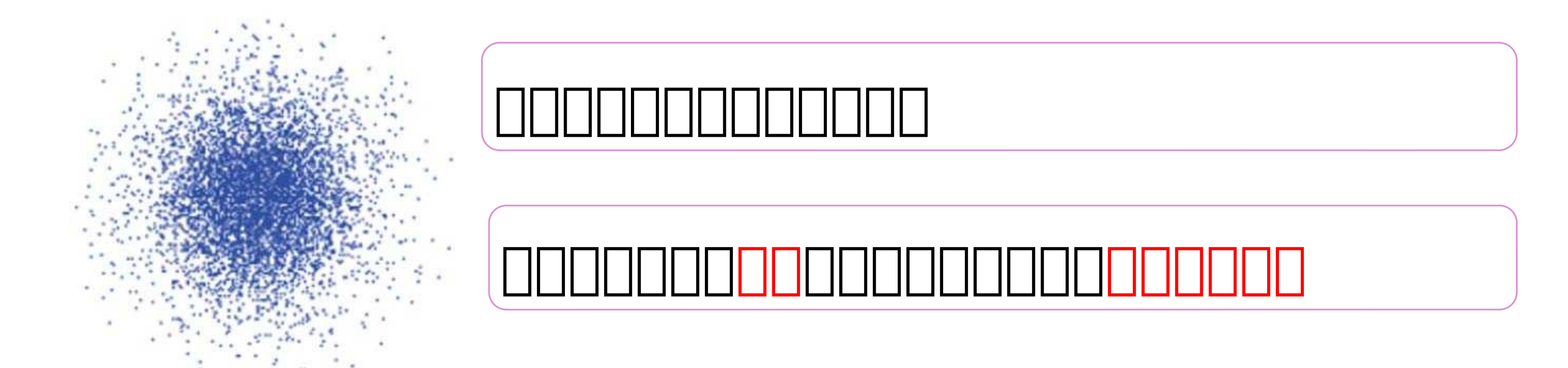




1
ρ =
P
V
H
1
图中的⊕表示原子核，一个小黑点表示电子在这里出现过一次
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f) 5张照片叠印
(g) 20张照片叠印
(h) 100张照片叠印
(i) 许多张照片叠印

小点：电子在此处的概率密度

离核越近，小点越密，电子在此处出现的概率密度越大

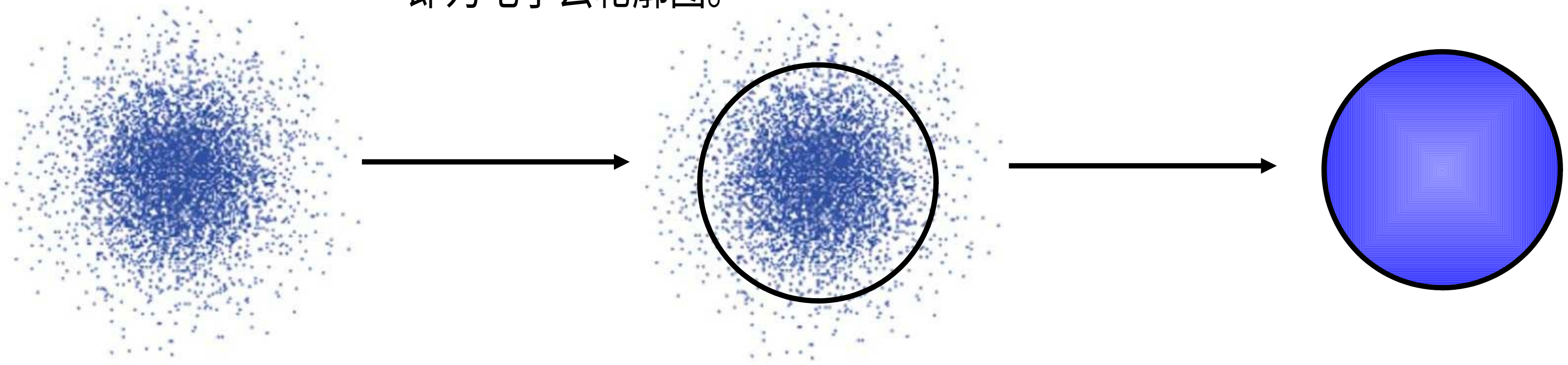


2、电子云轮廓图

形象地描述电子的空间运动状态

（1）定义

把电子出现的概率约为 90% 的空间圈出来，即为电子云轮廓图。



（2）形状

①s 电子的电子云轮廓是球形

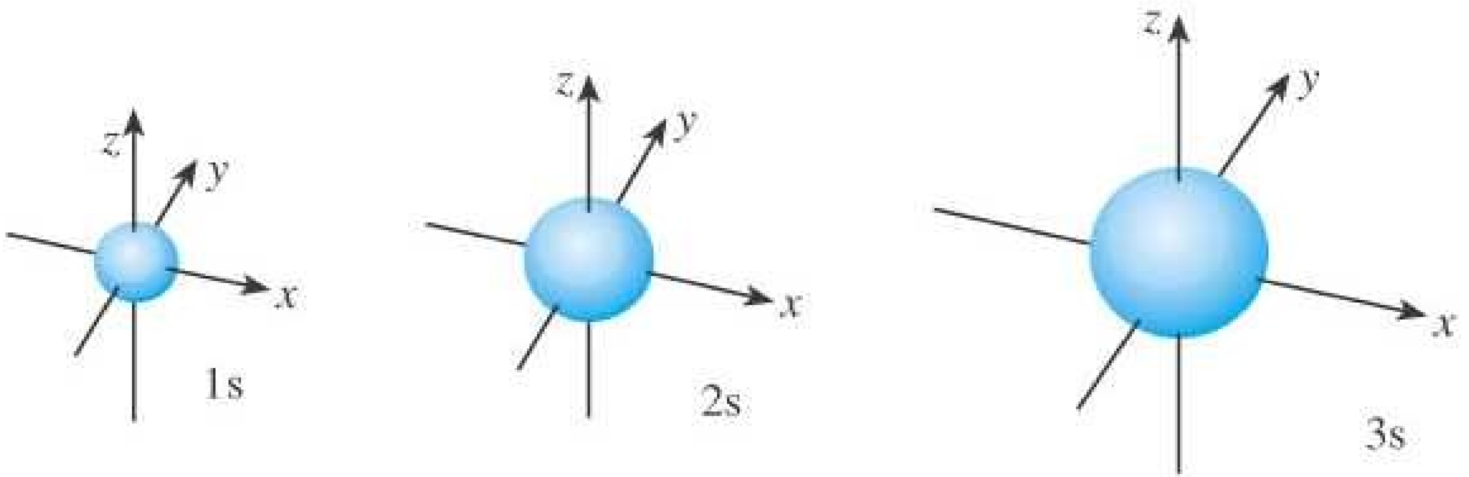
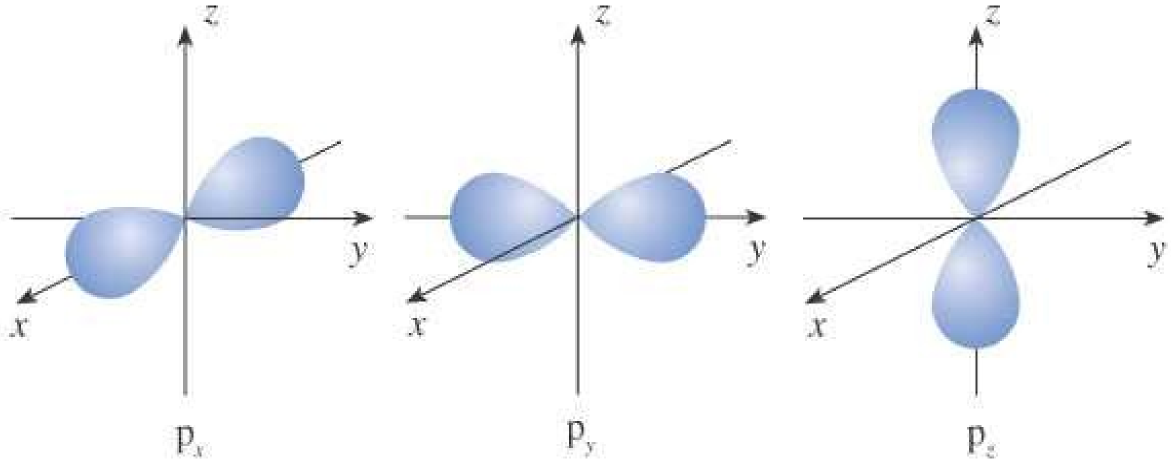


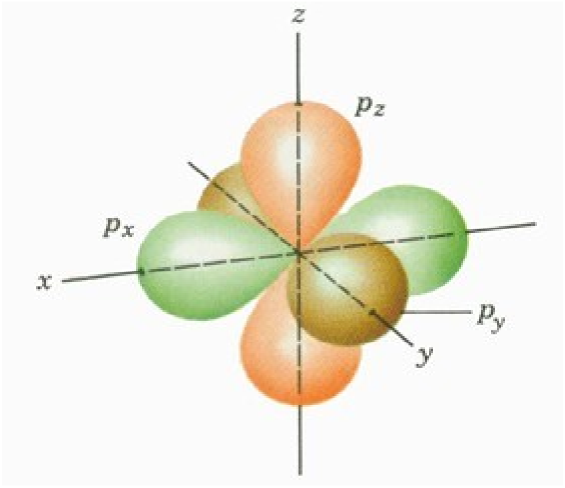
图 1-9　同一原子的 s 电子的电子云轮廓图

规律：　①任一能层的 S 电子的电子云形状相同，均为球形

② 同一原子的能层越高， S 电子云半径越大。

②p 电子的电子云轮廓是哑铃形





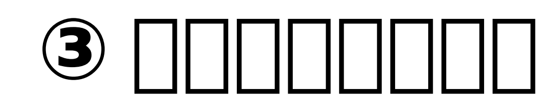
规律：

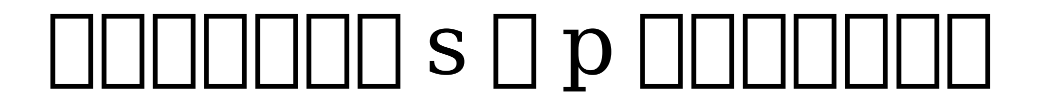
① 每个 **p** 能级有 **3** 个相互垂直的电子云，有 **x**、**y**、**z** **3** 个取向，以 $\mathbf{p_x}$、$\mathbf{p_y}$、$\mathbf{p_z}$ 表示（**3** 个原子轨道）。

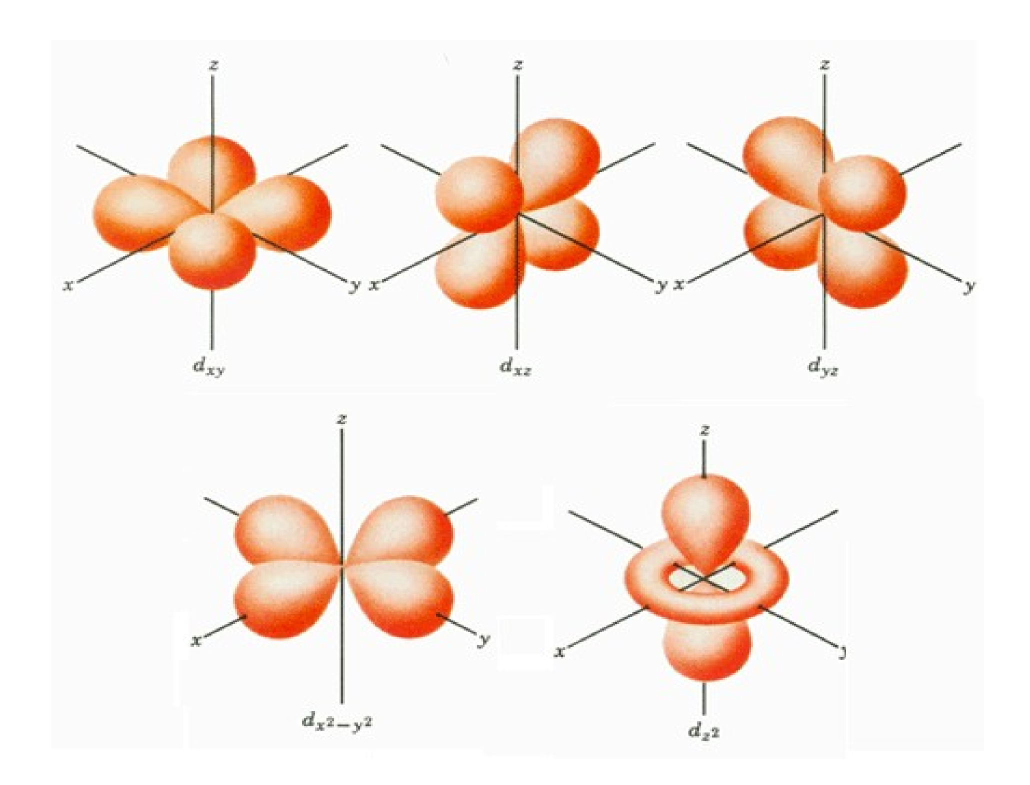
②**p** 能级的电子云都是哑铃形的

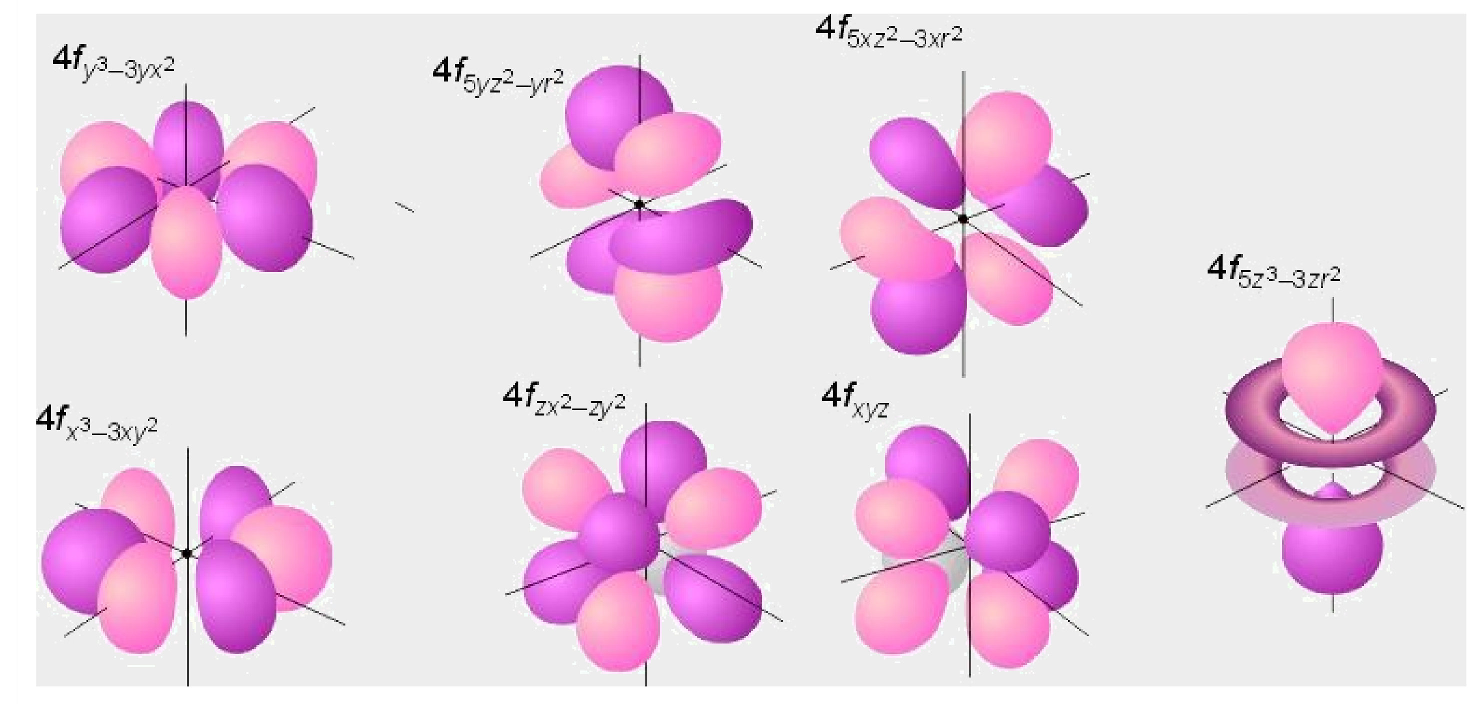
③$E_{2p_x}=E_{2p_y}=E_{2p_z}$（简并轨道）

④ 能层越高，**p** 电子云半径越大。


③


s
p


z
x
y
d_{xy}
d_{xz}
d_{yz}
$d_{x^2-y^2}$
d_{z^2}

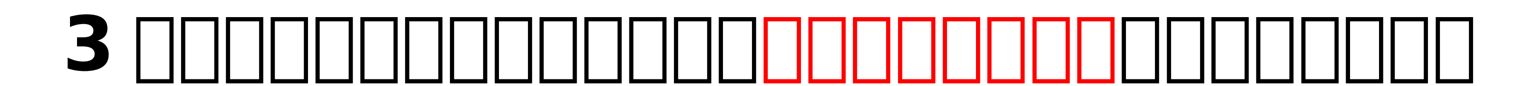

$4f_{y^3-3yx^2}$
$4f_{5yz^2-yr^2}$
$4f_{5xz^2-3xr^2}$
$4f_{5z^3-3zr^2}$
$4f_{x^3-3xy^2}$
$4f_{zx^2-zy^2}$
$4f_{xyz}$

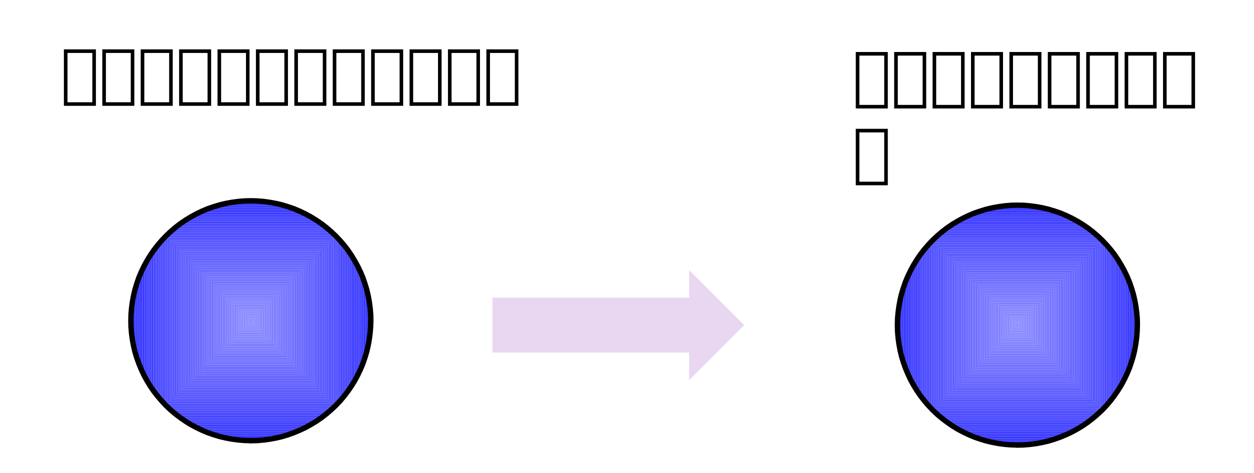
d

f

3、原子轨道：电子在原子核外的一个空间运动状态称为一个原子轨道

电子云轮廓图的形状与取向 原子轨道的形状与取
向





原子轨道的符号：能级符号（+ 下标）

第 n 层的原子轨道数为 n^2

n	能层	能级	原子轨道数	原子轨道符号	原子轨道的形状和取向	
					形状	取向
1	*K*	1*s*	1	1s	球形	
2	*L*	2*s*	1	2s	球形	
		2*p*	3	$2p_x$、$2p_y$、$2p_z$	哑铃形	互相垂直
3	*M*	3*s*	1	3s	球形	
		3*p*	3	$3p_x$、$3p_y$、$3p_z$	哑铃形	互相垂直
		3*d*	5	·····	·····	
4	*N*	4*s*	1	4s	球形	
		4*p*	3	$4p_x$、$4p_y$、$4p_z$	哑铃形	互相垂直

五、三个原理※

教材 **P14**

1、泡利（不相容）原理

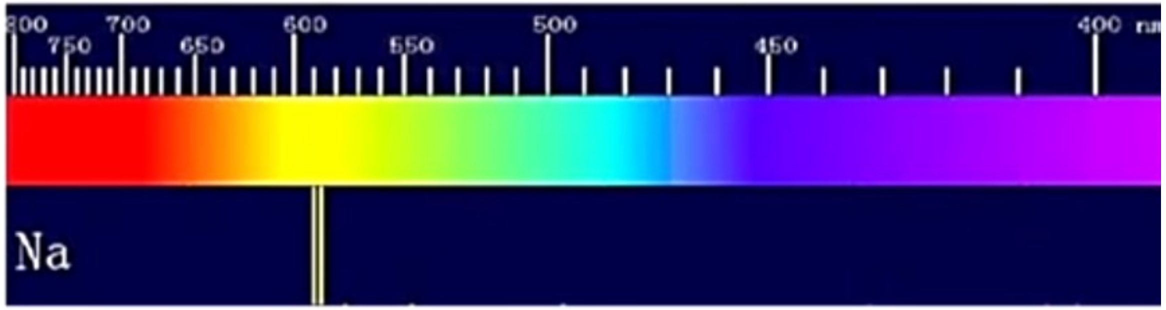
每个原子轨道最多只能容纳几个电子?

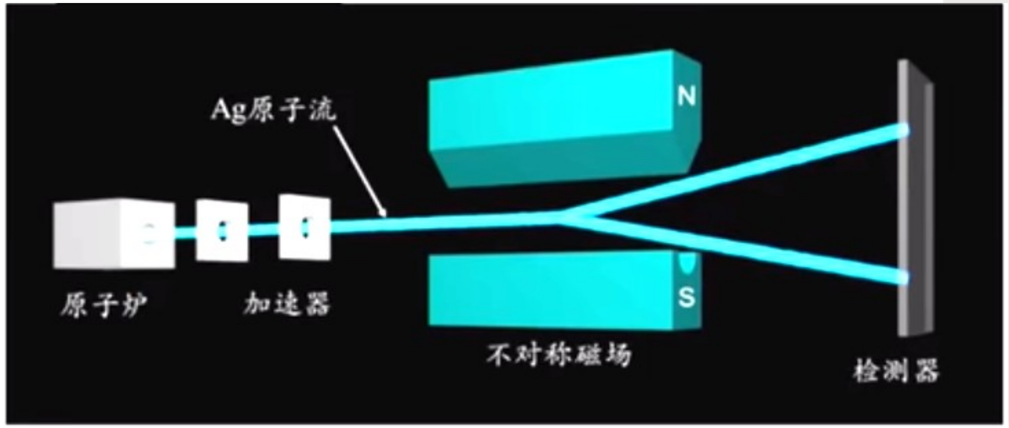
能层序数	能级	原子轨道数	最多可容纳电子数
1	1s	1	2
2	2s 2p	1+3=4	8
3	3s 3p 3d	1+3+5=9	18
4	4s 4p 4d 4f	1+3+5+7=16	32
…	…	…	…
n	___	n^2	$2n^2$

同一轨道的 2 个电子，运动状态是否完全相同?

斯特恩 - 盖拉赫实验

钠原子光谱实验





只有 **1** 个最外层电子的碱金属原子光谱会在光谱里呈现双线

只有 **1** 个最外层电子的银原子在外加电场里加速飞行通过一个不对称磁场时会分成两束

提出猜想：轨道中的单电子可能存在两种不同的运动状态

1925 年：乌伦贝克和哥德斯密根据实验事实提出概念“电子自旋”，电子除了空间运动状态外，还存在一种运动状态叫自旋。

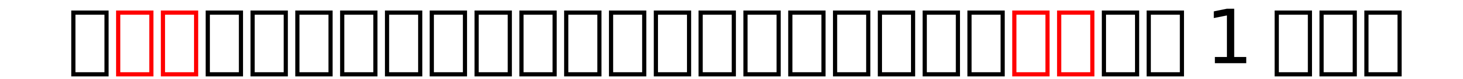
（1）电子的运动状态：自旋
（2）Pauli 原理：同一轨道中最多容纳2 个电子，且自旋相反

基态某原子核外是否存在运动状态相同的2 个电子？
（3）描述电子运动状态的四个参数：

能层——能级——轨道——自旋

Na 原子核外有________种运动状态的电子
Na 原子核外有________空间运动状态的电子

2



Si: ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑↓ ↑ ↑

1s 2s 2p 3s 3p

1个箭头表示1个电子及其自旋状态(用“↑↓”表示2个自旋相反的电子)

1个方框表示1个原子轨道

单电子

没有电子的轨道称为空轨道

能级符号

能层序数

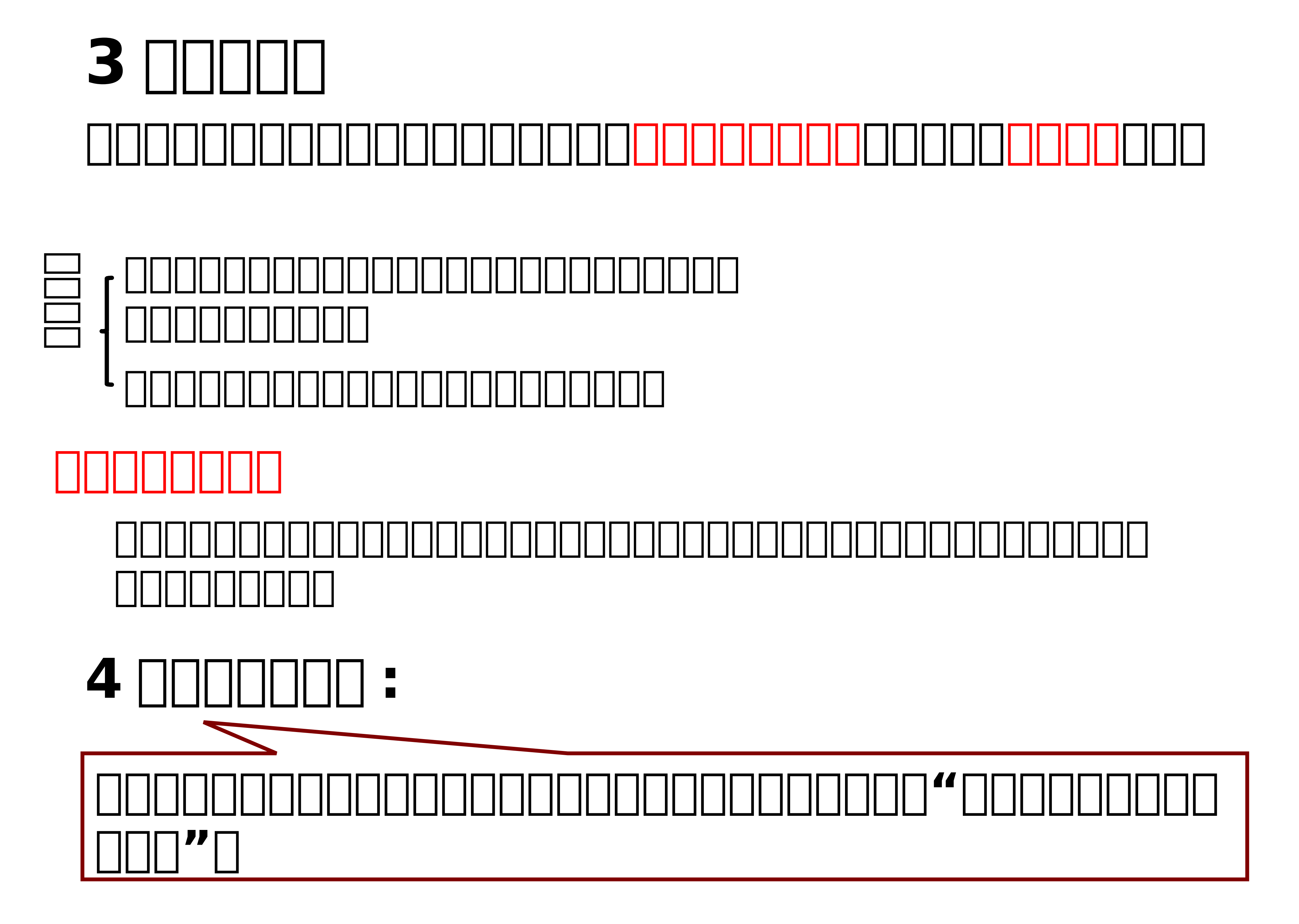
3、洪特规则
当电子排布在同一能级的不同轨道时，总是优先单独占据一个轨道，而且自旋方向相同。

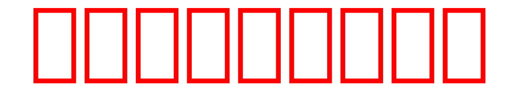
洪特规则是针对电子填入简并轨道而言，并不适用于电子
填入能量不同的轨道。
洪特规则不仅适用于基态原子，也适用于基态离子

洪特规则的特例：
当能量相同的轨道（同一能级）上的电子排布处于全充满、半充满和全空状态时，具有较低的能
量和较高的稳定性。

4、能量最低原理:

不是指电子填充到能量最低的轨道中去，泡利原理和洪特规则都使“整个原子处于能量最低状态”。





3d				
↑↓	↑	↑	↑	↑

4s: ↑↓

3p: ↑↓ ↑↓ ↑↓

3s: ↑↓

2p: ↑↓ ↑↓ ↑↓

2s: ↑↓

1s: ↑↓

【思考与交流】

1 、1-36 号元素原子的电子排布式是否都遵循构造原理?

24 号铬: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$

29 号铜: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

洪特规则特例:

在等价轨道的全充满（p^6，d^{10}，f^{14}）、半充满（p^3，d^5，f^7）全空时 (p^0,d^0,f^0) 的状态，具有较低的能量和较大的稳定性。

前 36 号元素中，

全空的有：Be（$2s^2$ $2p^0$） Mg（$3s^2$ $3p^0$） Ca（$3d^0$ $4s^2$）

半充满的有：N（$2s^2 2p^3$） P（$3s^2 3p^3$）

Cr（$3d^5 4s^1$）

Mn（$3d^5 4s^2$） As（$4s^2 4p^3$）

全充满的有：Ne（$2s^2 2p^6$） Ar（$3s^2 3p^6$）

Cu（$3d^{10} 4s^1$）

练习

1、请写出 1~10、11~18 号元素原子的电子排布式。

3	锂	Li	$1s^2 2s^1$	11	钠	Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
4	铍	Be	$1s^2 2s^2$	12	镁	Mg	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
5	硼	B	$1s^2 2s^2 2p^1$	13	铝	Al	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$
6	碳	C	$1s^2 2s^2 2p^2$	14	硅	Si	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
7	氮	N	$1s^2 2s^2 2p^3$	15	磷	P	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
8	氧	O	$1s^2 2s^2 2p^4$	16	硫	S	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
9	氟	F	$1s^2 2s^2 2p^5$	17	氯	Cl	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
10	氖	Ne	$1s^2 2s^2 2p^6$	18	氩	Ar	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

2 □□□□ 21~30 □□□□□□□□□□□□

□Sc□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$

□Ti□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$

□V□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$

□Cr□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$

□Mn□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$

□Fe□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$

□Co□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$

□Ni□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$

□Cu□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

□Zn□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$

3□□□□30~36□□□□□□□□□□□

□Ga□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^1$

□Ge□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$

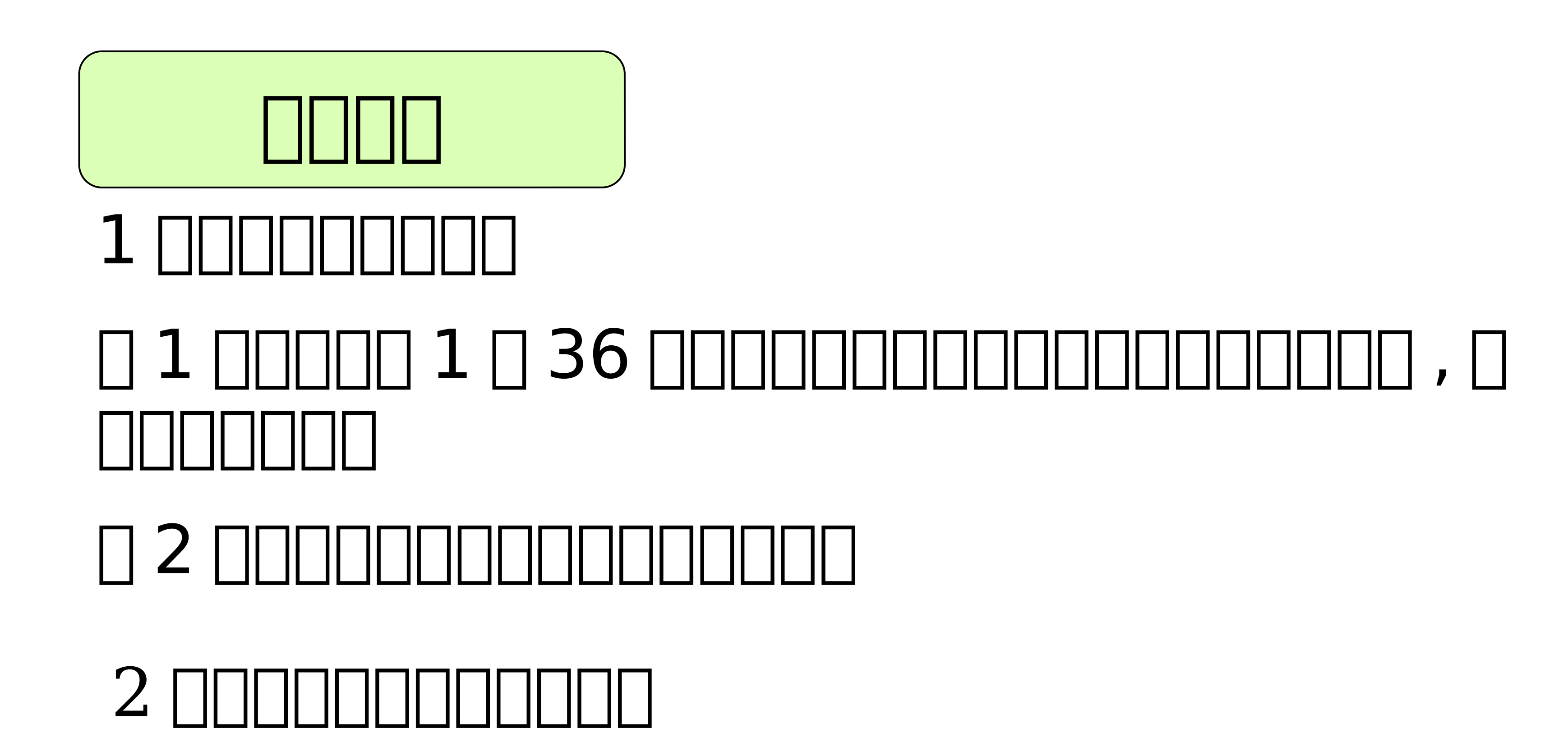
□As□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$

□Se□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$

□Br□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^5$

□Kr□ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$

课后作业
1、复习第一节知识：
（1）熟练书写 1 ～36号元素的原子电子排布式及简化电子排布式, 外围电子排布式；
（2）书写主族元素的原子电子排布式；
2、《周练》第一节第二课时



各能级包含的原子轨道数：

（1）ns 能级各有 1 个原子轨道；

（2）np 能级各有 3 个原子轨道；

（3）nd 能级各有 5 个原子轨道；

（4）nf 能级各有 7 个原子轨道；

×2

各能级最多容纳电子数：

2

6

10

14